



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Jordfysiske egenskabers påvirkning af mikrobiologisk olienedbrydning i dieselolieforurennet jord

Lund, Willy; Møldrup, Per

*Publication date:*  
1996

*Document Version*  
Early version, also known as pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Lund, W., & Møldrup, P. (1996). *Jordfysiske egenskabers påvirkning af mikrobiologisk olienedbrydning i dieselolieforurennet jord*. Geotechnical Engineering Group. AAU Geotechnical Engineering Papers: Environmental Engineering Paper Vol. R 9604 No. 1

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Jordfysiske egenskabers påvirkning af mikrobiologisk olienedbrydning i dieselolieforurennet jord**

W.P. Lund, P. Møldrup

June 1996

Environmental Engineering Paper No 1



**GEOTECHNICAL ENGINEERING GROUP  
AALBORG UNIVERSITY DENMARK**

**Lund, W.P., Møldrup, P. (1996). Jordfysiske egenskabers påvirkning af mikrobiologisk olienedbrydning i dieselolieforurenede jord.**

*AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9604.

*Environmental Engineering Paper No 1*

The paper has been published in *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-96, Reykjavik*, Vol 1, pp 589-594.

© 1996 AAU Geotechnical Engineering Group.

Except for fair copying, no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the Geotechnical Engineering Group.

Papers or other contributions in AAU Geotechnical Engineering Papers and the statements made or opinions expressed therein are published on the understanding that the author of the contribution is solely responsible for the opinions expressed in it and that its publication does not necessarily imply that such statements or opinions are or reflect the views of the AAU Geotechnical Engineering Group.

The AAU Geotechnical Engineering Papers - AGEp - are issued for early dissemination and book keeping of research results from the Geotechnical Engineering Group at Aalborg University (Department of Civil Engineering). Moreover, the papers accommodate proliferation and documentation of field and laboratory test series not directly suited for publication in journals or proceedings.

The papers are numbered ISSN 1398-6465 R<two digit year code><two digit consecutive number>. For internal purposes the papers are, further, submitted with coloured covers in the following series:

Series	Colour
Laboratory testing papers	sand
Field testing papers	grey
Manuals & guides	red
Soil Mechanics papers	blue
Foundation Engineering papers	green
Engineering Geology papers	yellow
Environmental Engineering papers	brown

In general the AGEp papers are submitted to journals, conferences or scientific meetings and hence, whenever possible, reference should be given to the final publication (journal, proceeding etc.) and not to the AGEp paper.

# Jordfysiske egenskabers påvirkning af mikrobiologisk olienedbrydning i dieselolieforurenede jord

(The effect of soil-physical properties on microbiological oil degradation in diesel oil polluted soil)

Willy P. Lund og Per Møldrup  
*Aalborg Universitet, Aalborg, Danmark*

**ABSTRACT:** The effect of basic soil-physical properties such as soil texture, soil-water content, effective oxygen diffusivity and permeability on biological oil degradation in two artificially polluted soils was investigated. Experiments were carried out during a six months period in large-scale laboratory lysimeters using packed soils with an initial oil content of 1.5% and using two different strategies for water, nitrogen and phosphorus application. A significant oil degradation was obtained only in the top few cm of the soils where the water content in periods was sufficiently low to allow a large oxygen diffusion from the atmosphere into the soil. The largest oil removal was obtained in the most coarse-textured soil due to more rapid water drainage and oxygen diffusion. The content of easily biodegradable oil compounds and the permeability both decreased during the experiments suggesting an increase in bioactivity and biomass during the six months. The oil degradation was clearly limited by the oxygen supply to the biomass and thus, an additional passive or active soil ventilation seems necessary to obtain any significant in-situ biological oil removal at polluted sites.

## 1. INDLEDNING

Biologisk in-situ oprensning af en olieforurenede grund udnytter, at jordens naturlige mikroorganismer kan omsætte olieforbindelser til kuldioxid, CO<sub>2</sub> og vand, H<sub>2</sub>O. Dette sker dog kun, hvis der er tilstrækkeligt med næringssalte (kvælstof, N, og fosfor, P) samt atmosfærisk ilt, O<sub>2</sub>, til stede. Tilførslen af N, P og O<sub>2</sub> til jordens mikroorganismer kan ske ved hjælp af vanding, hvor næringssalte og ilt er opløst i det infiltrerede vand. Denne metode til oprensning af olieforurenede jord kaldes populært biovanding og finder for tiden sted på en større forurenede grund i Hjørring i Nordjylland (N & R Consult, 1993).

For at undersøge effektiviteten af biologisk in-situ rensning af olieforurenede jord er der i en storskala forsøgsopstilling foretaget en laboratoriemæssig undersøgelse af nedbrydningsfor-

løbet og ændring i jordfysiske egenskaber under kontrollerede forhold.

## 2. JORDTYPER

Der er undersøgt 2 sandjordarter, der begge er udtaget på lokaliteter, hvor der er konstateret olieforurening. Der er dog udtaget uforurenede jord, der i laboratoriet blev forurenede med 1,5 vægtprocent dieselolie. Jord 1 er en siltet sand fra en tidligere gasværksgrund i Hjørring. Jord 2 er en sandjord fra en tidligere tankstation i Nørresundby, Nordjylland. For begge jordarter er der bestemt klassifikationsparametre som anført i tabel 1. Kornkurverne i figur 1 viser, at jord 1 består af en siltet finsand og jord 2 består af en grovere sand uden silt.

Tabel 1. Klassifikationsparametre for de to jorde. (Characteristics for the two soils).

		Jord 1	Jord 2
Kalkindhold	[%]	0.3	0
Glødetab	[%]	1.2	0.6
Reduceret glødetab	[%]	1.1	0.6
Relativ densitet		2.66	2.65

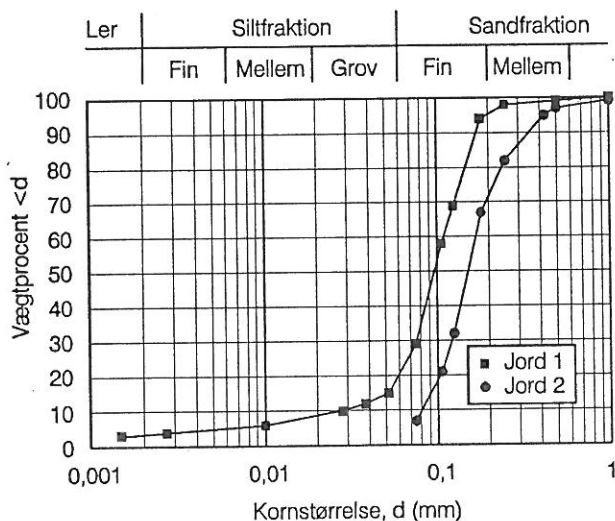


Fig. 1. Kornkurve for de to jorde. (Soil texture for the two soils).

### 3. FORSØGSOPSTILLING

Forsøgene foregik i en stor jordlysimeter-opstilling med mål, som fremgår af figur 2a.

I bunden af kassen blev der udlagt 10 cm grus til jævn afdræning af jordlaget. Midt under kassen er der placeret et udløb. Over gruslaget blev der udlagt et geotextil for at forhindre sammenblanding af jordmatrice og gruslag.

Jorden blev inden pakning lufttørret ved udlægning på geotextil og efter bestemmelse af vandindhold, kunne der udtages den jordmængde, der skulle pakkes i lysimeteret til en pakningsgrad på 1,5 g tørstof/cm<sup>3</sup>. Inden pakningen blev jorden opdelt i 8 dele, og hver del blev iblandet 1,5% (w/w) dieselolie. Indenfor de 40 cm, hvor jordmatricen skulle pakkes, var der tilsvarende inddelt i otte 5 cm's intervaller for at opnå en ensartet pakning. Oven på den forurenede jord blev der udlagt 10 cm gruslag.

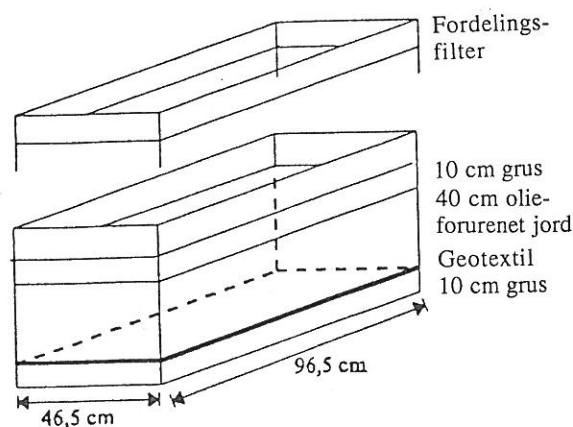


Fig. 2a. Jordlysimeter opstilling, principskitse. (Experimental set-up, illustration in principle).

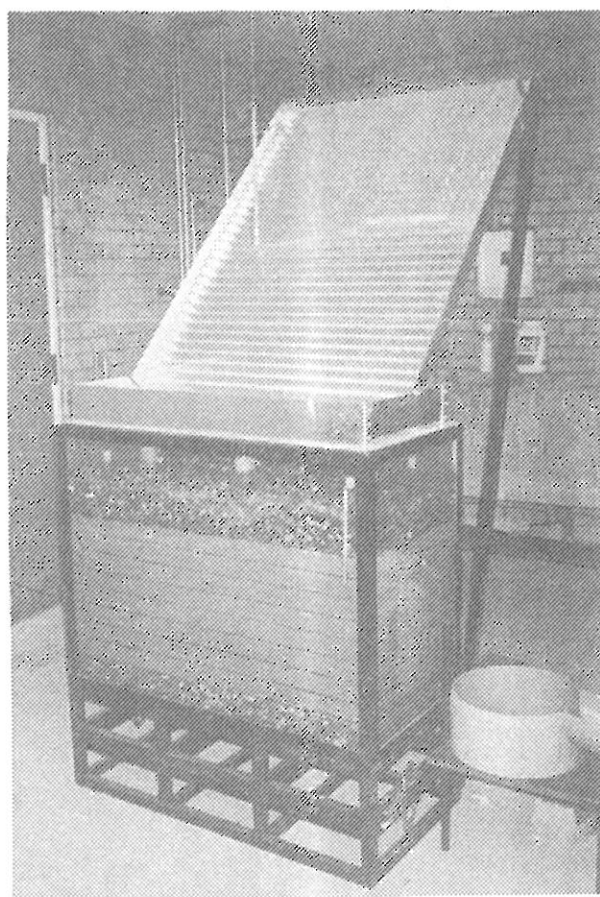


Fig. 2b. Jordlysimeter opstilling. (Experimental set-up).

Infiltrationsvandet blev iltet på en iltningstrappe inden det ved hjælp af en filterkasse blev jævnt fordelt over jorden. Det gennemstrømmede vand afdrænede over i en overløbs-



beholder, se figur 2b. Målinger på udløbsvand fra lysimetrene viste, at der kun blev udvasket ubetydelige oliemængder.

Infiltrationsvandet blev tilsat kvælstof og fosfor i form af kaliumnitrat ( $\text{KNO}_3$ ) og calciumhydrogenfosfat ( $\text{CaHPO}_4$ ). De nødvendige mængder N og P til olienedbrydningen blev udregnet udfra et forhold mellem kulstof (C) i olien og N og P på 100:10:1 (vægtbasis). Der blev ved udvalgte vandinger tilsat kaliumhydroxid (KOH) for at sikre, at jorden ikke blev for sur, i.e. for at undgå for lavt pH. Temperaturen i forsøgsperioden var konstant ca. 18°C.

#### 4. FORSØGSAFVIKLING OG ANALYSER

Afhængigt af temperatur, kan der maksimalt opløses 8-9 mg  $\text{O}_2$ /L vand i infiltrationsvandet. Idet der kræves ca. 2-3 g  $\text{O}_2$  til biologisk nedbrydning af 1 g olie, skal der derfor tilføres minimum 0.3 m<sup>3</sup> vand for hvert gram olie i jorden for at opnå tilstrækkeligt med ilt til nedbrydningen. Ofte er det dermed ikke muligt at tilføre nok ilt med infiltrationsvandet, og den naturlige geniltning af jorden via diffusion af ilt fra atmosfæren ned i jorden bliver derfor styrende for hastigheden, hvormed olienedbrydningen foregår. Ilt diffusionen finder først og fremmest sted i det luftfyldte porerum mellem jordpartikler/jordvand, idet diffusionshastigheden af ilt i luft er ca. 10,000 gange hurtigere end i vand. Dermed bliver ilt diffusionshastigheden ned i jorden stærkt afhængig af jordens aktuelle vandindhold. Hvis jorden har et lavt vandindhold, er der et større luftfyldt porehulrum, og diffusionen sker meget hurtigere end i en våd jord (Møldrup et al., 1996).

Jordens aktuelle vandindhold afhænger af mange faktorer; bl.a. vandingsintensitet og -mængde, tiden siden sidste vanding, og ikke mindst jordens afdræningsegenskaber. Afdræningsegenskaberne afhænger igen af grundlæggende jordfysiske parametre som lejrings-tæthed, kornstørrelsesfordeling, og jordens permeabilitet.

For at undersøge effekten af jordens egenskaber og den anvendte vandingsstrategi på den opnåede olienedbrydning har vi over en periode på et halvt år målt udvikling i olieindhold og grundlæggende jordfysiske parametre i forbindelse med biovanding af den dieselolieforurenede jord. Vi har udført to forskellige forsøg med de to jordtyper og anvendt to forskellige vandingsstrategier.

I det ene forsøg med jord 1 blev der anvendt samme vandingsstrategi, som blev benyttet i fuld skala på den forurenede grund i Hjørring (hyppig vanding med få dages mellemrum). I det andet forsøg med jord 2 blev der anvendt færre antal vandinger, men tilført større mængder vand ved hver vanding.

I forbindelse med første vanding i begge forsøg blev vandfrontudbredelsen ned gennem matricen indtegnet på lysimeterets plexiglassider til forskellige tidspunkter, se figur 3. Vandfronten bevægede sig i begge tilfælde i stort set vandrette planer ned gennem jorden, hvilket indikerer en homogen pakket matrice. Vandstrømningen var som forventet langsommere i den mere siltede jord 1.

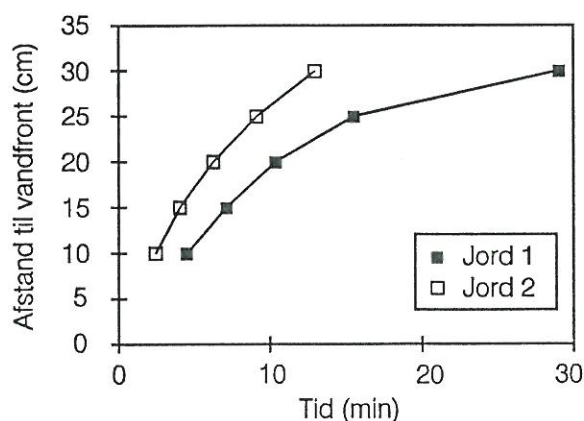


Fig. 3. Afstand til vandfront som funktion af tiden ved 1. infiltration. Under forsøget var der vandmætning ved jordoverfladen. (Distance to wetting front as a function of time during the first infiltration, carried out under water-saturated, upper boundary condition).



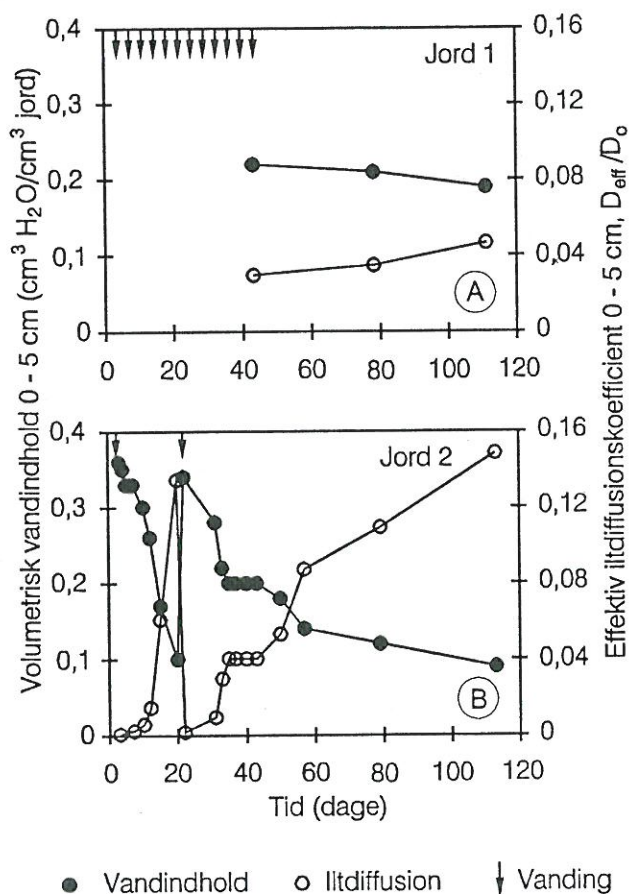


Fig. 4. Vandindhold og effektiv ilt diffusionskoefficient som funktion af tiden. Pile angiver vandinfiltration. (Volumetric soil-water content and oxygen diffusivity as a function of time. Arrows show times of water infiltration).

Figur 4 viser udviklingen i vandindhold i det øverste jordlag (0-5 cm) som funktion af tiden for begge jordtyper. For jord 1 blev der infiltreret vand 12 gange med 3-4 dages mellemrum. Den mere siltede jord 1 havde vanskeligt ved at afdræne, og vandindholdet i topjorden faldt meget langsomt efter sidste vanding (figur 4a). For jord 2 blev der infiltreret ca. samme mængde vand (ca. 250 liter), ilt, N og P, men kun fordelt over 2 gange, dag 1 og dag 20. Den mere sandede jord 2 drænedes hurtigt, både mellem de to vandinger og efter den anden vanding (figur 4b). Det bemærkes, at ilten i de 0.25 m³ infiltrationsvand jf. begyndelsen af dette afsnit kun ville være nok til at nedbryde ca. 1 gram olie, hvorfor en nødvendig ilttilførsel v.h.a. vandet var urealistisk. Vandet blev derfor kun iltet for

at undgå uønskede anaerobe processer i vandet under infiltrationen.

For at vurdere den naturlige ilttilførsel fra atmosfæren ned i jorden kan den effektive diffusionskoefficient af ilt i det luftfyldte porehulrum i jorden,  $D_{eff}$ , divideret med diffusionskoefficienten af ilt i atmosfæren,  $D_0$ , estimeres ud fra den såkaldte Millington-Quirk formel (Millington and Quirk, 1961).

$$\frac{D_{eff}}{D_0} = \frac{[\text{Luftfyldt porehulrum}]^{10/3}}{[\text{Total porøsitet}]^2} \quad (1)$$

hvor det luftfyldte porehulrum (cm³/cm³ jord) beregnes som total porøsitet (cm³/cm³ jord) ÷ volumetrisk vandindhold (cm³ vand/cm³ jord) ÷ volumetrisk olieindhold (cm³ olie/cm³ jord). Til beregningerne blev anvendt værdier af relativ partikeldensitet og vægtfylde af vand og olie på hhv. 2.65 g/cm³, 1.00 g/cm³ og 0.83 g/cm³.

Forholdet  $D_{eff}/D_0$  repræsenterer dermed den relative ilttilførselshastighed fra atmosfæren ned i jorden.  $D_{eff}/D_0$  som funktion af tiden er vist i figur 4 for begge jordtyper. For den siltede jord 1 er ilttilførslen fra atmosfæren forholdsvis lav på grund af det konstant høje vandindhold (og dermed lave luftfyldte porehulrum) gennem hele måleperioden. Derimod opnås en periodevis relativ høj ilttilførsel for den sandede jord 2, både mellem de to vandinger og efter den anden vanding.

At størrelsen af denne naturlige geniltning af jorden fra atmosfæren er afgørende for olienedbrydningen er vist i figur 5, hvor olieindhold som funktion af dybde er vist for begge jorde til udvalgte tidspunkter. For jord 2 er der allerede en signifikant olienedbrydning i topjorden før den anden vanding (dag 20), og der er efter et halvt år nedbrudt mere olie i jord 2 end jord 1. Efter 184 dage var der et lavt vandindhold i toppen af jord 2 (0.09-0.10 cm³/cm³ jord i 0-7 cm dybde) men et højere vandindhold længere nede (0.20-0.22 cm³/cm³ jord i 7-40 cm dybde). Dermed ses, at en væsentlig olienedbrydning kun er sket i det jordlag, hvor der har været et lavt vandindhold og dermed en høj naturlig geniltning fra atmos-

færen (0-7 cm, jf. figur 5b). Det samme gjorde sig gældende for jord 1.

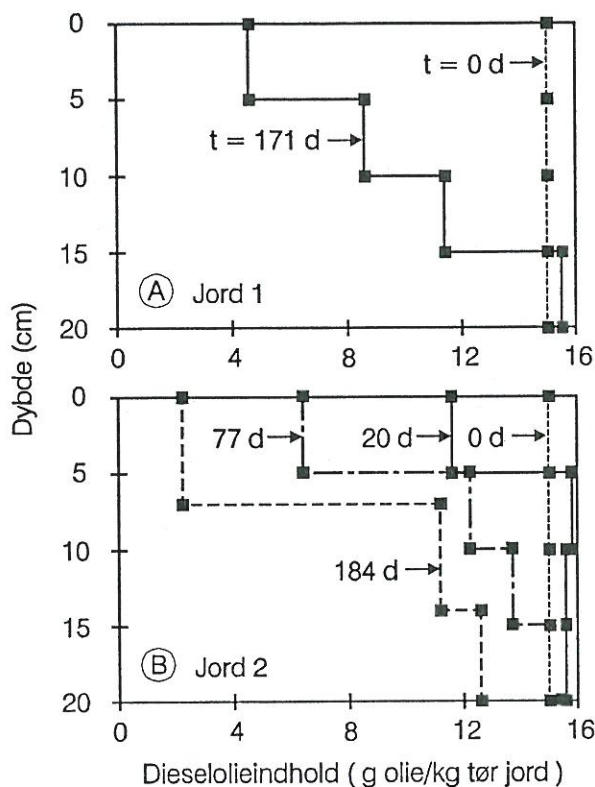


Fig. 5. Olieindhold som funktion af jorddybde. (Oil content as a function of soil depth).

For at undersøge om olien var blevet biologisk nedbrudt og ikke blot var fordampet, blev der målt på to specifikke olieforbindelser, pristan og n-C17. De to forbindelser har ca. samme Henry's konstant (fordampningskonstant), men pristan er en forgrenet og dermed meget vanskeligt bionedbrydelig forbindelse, hvori- mod n-C17 er en ligedannet, nemt nedbrydelig forbindelse. Figur 6 viser forholdet mellem pristan og n-C17 som funktion af tiden for begge jorde i 0-5 cm dybde. Det ses, at forholdet stiger som funktion af tiden i begge topjorde, og at det generelt er højere i jord 2 end i jord 1. Dette viser, at der er tale om en biologisk nedbrydning af olien, og at nedbrydningsaktiviteten har været størst i jord 2, sandsynligvis på grund af en højere ilttilførsel fra atmosfæren til jord 2 end til jord 1. Samme konklusioner kunne drages ved at betragte forholdet mellem de to olieforbindelser phytan og n-C18 (ikke vist).

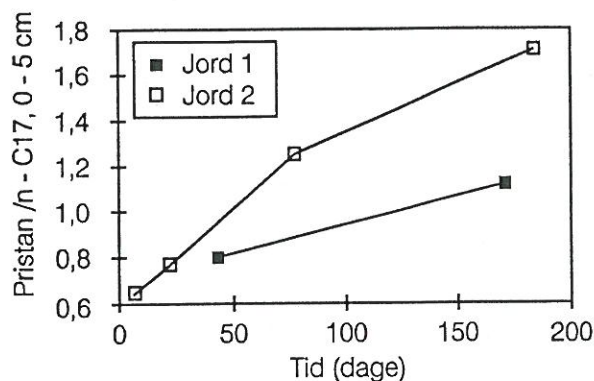


Fig. 6. Forhold mellem en svært bionedbrydelig (pristan) og en letnedbrydelig (n-C17) olieforbindelse som funktion af tiden. (Ratio between a slowly biodegradable and an easily biodegradable oil compound as a function of time).

Til undersøgelse af permeabiliteten for den uforurenede jord er der udført strømningsforsøg med homogeniserede, mættede jordprøver ved forskellige lejringstætheder. Forsøgene er udført i Falling Head apparat (Lund, 1989, Lund et al., 1992).

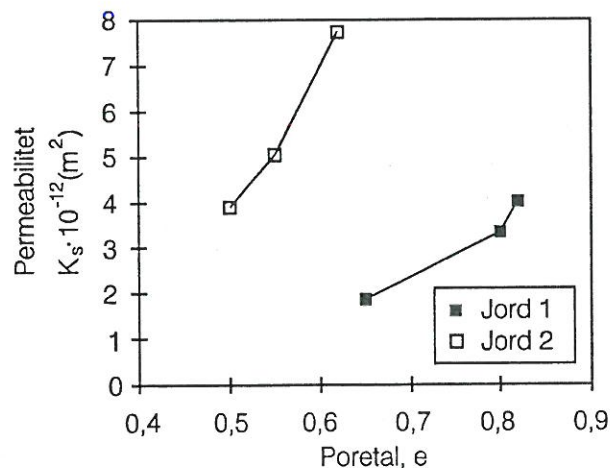


Fig. 7. Permeabilitet ( $K_s$ ) som funktion af poretal. (Permeability ( $K_s$ ) as a function of void ratio).

Resultaterne af forsøgene er angivet i figur 7, hvor den mættede permeabilitet er vist som funktion af poretal. For begge jordarter kan den mættede permeabilitet udtrykkes ved

$$K_s \approx \kappa \cdot \frac{e^3}{1+e} \quad (2)$$



hvor  $\kappa$  er en koefficient, der er bestemt til  $1.25 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$  for jord 1 og  $5.00 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$  for jord 2.

For at undersøge om der skete ændringer i strømningsegenskaber gennem forsøgsperioden, blev der i lysimeteret udtaget intaktprøver til strømningforsøg i de øverste 25 cm af jordmatricen i tyndvæggede rør med en indre diameter på 44 mm. Udtagningen af jordprøverne forårsagede mindre afvigelser i lejringstæthed. De målte permeabiliteter på intaktprøverne blev derfor ved korrektion bragt på ens basis ved hjælp af den fundne sammenhæng mellem permeabilitet og poretal for den uforurenede jord. De korrigerede permeabiliteter er vist grafisk i figur 8 og udviser en svag faldende tendens i forsøgsperioden for begge jordarter. Det er sandsynligt, at de svagt faldende permeabiliteter skyldes, at der er sket en biomassetilvækst.

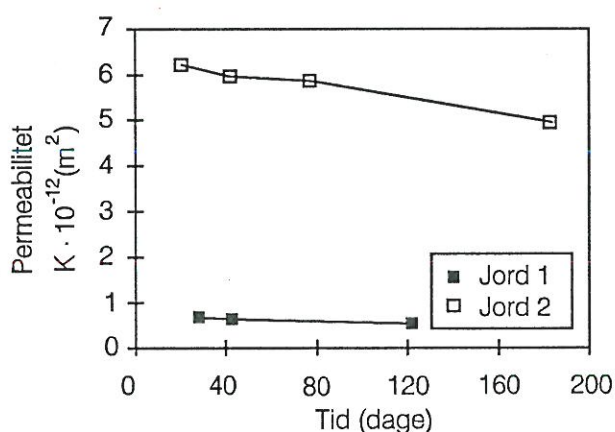


Fig. 8. Korregeret permeabilitet ( $K$ ) som funktion af tiden. (Corrected permeability ( $K$ ) as a function of time).

En lignende biomassetilvækst og samtidig fald i jordens permeabilitet er vist af Kawanishi et al. (1990) ved infiltration med vand indeholdende høje koncentrationer af letomsætteligt organisk stof i uforurenat sandet jord.

## 5. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

Resultaterne af de to storskalaforsøg viser, at det er muligt at få en mikrobiologisk olieomsætning til at forløbe ved en in-situ infil-

tration af næringssalte og iltet vand. Der er dog kun sket en væsentlig olienedbrydning i den øverste del af jordmatricen, hvor der har været et periodevis lavt vandindhold og dermed en høj naturlig geniltning fra atmosfæren.

Strømningsforsøg med intakte jordprøver udtaget i jordmatricen i løbet af forsøgsperioden viser, at der sker et lille fald i permeabiliteten, når en mindre del af olieindholdet nedbrydes. Faldet skyldes sandsynligvis en biomassetilvækst. Ændringer i permeabiliteten ved omdannelse af større mængder olie giver forsøgene her ikke svar på.

Ud fra de fundne resultater bør en oprensning in situ, hvor olieforureningen kan udbrede sig til flere meters dybde, baseres på kun få vandinger med tilsatte næringssalte og kombineres med tilførsel af ilt ved hjælp af passiv eller aktiv ventilering i den forurenede jord.

## 6. REFERENCER

- Kawanishi, T., Kawashima, H., Chihara, K., Suzuki, M. (1990). Effect of biological clogging on infiltration rates in soil treatment systems. *Water Sci. Techn.* 22:101-108.
- Lund, W.P. (1989). Notat om strømningforsøg med faldende trykniveau. *Aalborg Universitet*.
- Lund, W.P., Møldrup, P., Sørensen, K.B. (1992). Bestemmelse af jords mættede hydrauliske ledningsevne og sorptivitet. *NGM*, 1992.
- Millington, R.J., Quirk, J.M. (1961). Permeability of porous solids. *Trans. Faraday Soc.* 57:1200-1207.
- Møldrup, P., Kruse, C.W., Rolston, D.E., Yamaguchi, T. (1996). Modelling diffusion and reaction in soils: III. Predicting gas diffusivity from the Campbell soil-water retention model. *Soil Science* (in press).
- N & R Consult. (1993). Oprensning af Hjørring gasværksgrund - Driftsstrategi, *N & R Consult A/S Rapport til Hjørring kommune*.

## **AGEP: Environmental Engineering papers**

- 1 Lund, W.P., Møldrup, P. (1996). Jordfysiske egenskabers påvirkning af mikrobiologisk olienedbrydning i dieselolieforurenede jord (The effect of soil-physical properties on microbiological oil degradation in diesel oil polluted soil; in Danish. *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-96, Reykjavik*, Vol 1, pp 589-594. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9604.